

**STUDI EKSPERIMENTAL *OCTANE BOOSTER*
MENGUNAKAN GENERATOR HIDROGEN DENGAN
VARIASI SUSUNAN SEL GENERATOR PADA MOTOR
YAMAHA MIO 155CC BERBAHAN BAKAR PERTALITE**



Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Strata Satu S-1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Oleh:

RIFKI WINDYA NAVIANTO

NIM: D 200 130 188

NIRM: 13 6 106 03030 50188

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

"STUDI EKSPERIMENTAL *OCTANE BOOSTER* MENGUNAKAN GENERATOR HIDROGEN DENGAN VARIASI SUSUNAN SEL GENERATOR PADA MOTOR YAMAHA MIO 155CC BERBAHAN BAKAR PERTALITE"

PUBLIKASI ILMIAH

Disusun oleh:

RIFKI WINDYA NAVIANTO

NIM: D 200 130 188

NIRM: 13 6 106 03030 50188

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

Tugas Akhir



(Ir. Sartono Putro MT.)


HALAMAN PENGESAHAN

"STUDI EKSPERIMENTAL *OCTANE BOOSTER* MENGUNAKAN GENERATOR HIDROGEN DENGAN VARIASI SUSUNAN SEL GENERATOR PADA MOTOR YAMAHA MIO 155CC BERBAHAN BAKAR PERTALITE"

**Telah disetujui dan dipertahankan dihadapan Dewan Penguji
Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Rabu, 19 Juli 2017
Dan dinyatakan memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Ketua : Ir. Sartono Putro, MT.
2. Anggota 1 : Ir. Subroto, MT.
3. Anggota 2 : Ir. Tri Tjahjono, MT.



Dekan Fakultas Teknik



Ir. Sri Sunarjono, MT. Ph.D.

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : RIFKI WINDYA NAVIANTO
NIM : D 200 130 188
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Naskah Publikasi Karya Ilmiah dengan judul **"Studi Eksperimental *Octane Booster* Menggunakan Generator Hidrogen dengan Variasi Susunan Sel Generator Pada Motor Yamaha Mio 155cc Berbahan Bakar Pertalite"** merupakan hasil penelitian yang benar-benar merupakan karya ilmiah Tugas Akhir yang saya buat dan bukan merupakan karya ilmiah Tugas Akhir hasil tiruan atau duplikasi dari Tugas Akhir yang sudah dipublikasikan dan pernah digunakan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan dilingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta atau instansi manapun. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada tekanan dari pihak manapun.

Surakarta, 19 Juli 2017

Yang menyatakan



Rifki Windya Navianto

STUDI EKSPERIMENTAL *OCTANE BOOSTER* MENGGUNAKAN GENERATOR HIDROGEN DENGAN VARIASI SUSUNAN SEL GENERATOR PADA MOTOR YAMAHA MIO 155CC BERBAHAN BAKAR PERTALITE

Rifki Windya Navianto, Ir. Sartono Putro MT.
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jalan A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura
Email : rifky_wn@yahoo.co.id

ABSTRAKSI

Perkembangan teknologi motor bakar mengalami kemajuan yang sangat pesat. Para produsen yang bergerak dibidang tersebut melakukan berbagai inovasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembakaran dari mesin dengan memproduksi mesin berkapasitas besar dan memiliki rasio kompresi yang tinggi untuk meningkatkan unjuk kerja dari mesin motor bakar. Namun mesin dengan rasio kompresi tinggi membutuhkan bahan bakar beroktan tinggi untuk mencegah *knocking* yang menyebabkan kerusakan pada mesin. Sedangkan bahan bakar beroktan tinggi memiliki harga yang tinggi dipasaran. Berbagai cara alternatif untuk meningkatkan efisiensi dan menghemat penggunaan bahan bakar pada mesin telah banyak dilakukan. Salah satunya ialah dengan mencampurkan gas hidrogen dengan bahan bakar baik bensin maupun solar saat proses pembakaran.

Penelitian ini memanfaatkan proses elektrolisis Faraday. Diawali dengan proses merancang serta membuat generator HHO yang tersusun dari sel-sel yang berbahan plat *Stainless Steel 304* tebal 0,8 mm. Kemudian plat tersebut diatur dengan variasi jarak 5 mm dan 10 mm, serta penggunaan katalisator NaOH diatur jumlah massanya sebesar 10 gram dan 20 gram dengan luas permukaan tercelup sebesar 504 cm² untuk mendapatkan hasil produksi generator HHO paling maksimal sebagai *octane booster*, bahan bakar alternatif dan pengaruhnya terhadap unjuk kerja motor bakar.

Laju produksi gas hydrogen terbanyak dihasilkan oleh generator HHO E5 20 gr dengan rata-rata sebesar 0,002041 gr/s, dimana generator HHO tersebut memiliki jarak diantara elektrodanya sebesar 5 mm dengan massa katalisator NaOH yang dilarutkan sebanyak 20 gram untuk setiap 1500 ml air (H₂O) destilasi. Dengan efisiensi generator HHO tertinggi dimiliki oleh generator HHO E5 20gr dengan nilai efisiensi rata-rata sebesar 81,59 %. Kemudian meningkatkan daya maksimum 6,1445 kW pada kecepatan putaran 7000 rpm, torsi maksimum 9,3976 Nm pada putaran 6500 rpm, serta penurunan konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 64,697 gr/s.

Kata kunci : Generator HHO, Unjuk Kerja Motor, Hidrogen, Elektrolisis.

**STUDI EKSPERIMENTAL OCTANE BOOSTER MENGGUNAKAN
GENERATOR HIDROGEN DENGAN VARIASI SUSUNAN SEL
GENERATOR PADA MOTOR YAMAHA MIO 155CC BERBAHAN
BAKAR PERTALITE**

Rifki Windya Navianto, Ir. Sartono Putro MT.
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jalan A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura
Email : rifky_wn@yahoo.co.id

ABSTRACT

The development of motor fuel technology has progressed very rapidly. Producers engaged in the field are innovating to improve the efficiency and effectiveness of combustion from engines by producing large-capacity engines and have high compression ratios to improve the performance of motor fuel engines. However, engines with high compression ratios require high-octane fuel to prevent knocking which causing damage to the engine. Meanwhile, high-octane fuel has a high price in the market. There are various alternative ways to improve efficiency and save fuel usage on the engine has been done a lot. One of them is by mixing hydrogen gas with fuel both gasoline and diesel during the combustion process.

This research utilizes Faraday's electrolysis process. Beginning with the process of designing and making a HHO generator composed of cells made from Stainless Steel 304 plate thick 0.8 mm. Then the plate is arranged with variations of 5 mm and 10 mm, and the use of the NaOH catalyst is regulated by 10 grams and 20 grams of mass with a dyed surface area of 504 cm² to obtain the maximum production of HHO generator as octane booster, alternative fuel and its effect On the performance of motor fuel.

The highest rate of hydrogen gas production is generated by the HHO E5 20 g generator with an average of 0.002041 g / s, wherein the HHO generator has a distance between the electrodes of 5 mm and the mass of the catalyst NaOH dissolved by 20 grams for every 1500 ml of water (H₂O) distillation. With the highest HHO generator efficiency is owned by HHO E5 20gr generator with an average efficiency value of 81.59%. Then increase the maximum power of 6.1445 kW at 7000 rpm rotation speed, maximum torque of 9.3976 Nm at 6500 rpm rotation, and decreased average fuel consumption of 64.697 gr / s.

Keywords: HHO Generator, Motor Performance, Hydrogen, Electrolysis.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai perkembangan teknologi motor bakar maju dengan pesat. Para produsen yang bergerak dibidang tersebut melakukan berbagai inovasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembakaran dari mesin yang diproduksinya. Bahkan saat ini para produsen berlomba-lomba untuk memproduksi mesin dengan kapasitas cc besar dan memiliki rasio kompresi yang tinggi untuk meningkatkan unjuk kerja dari mesin motor bakar.

Namun sangat disayangkan bahwa penggunaan bahan bakar minyak saat ini masih menjadi penopang utama sebuah mesin motor bakar untuk dapat bekerja. Kebutuhan akan sumber energi berupa minyak tersebut diperparah dengan bertambahnya kuota untuk produksi bahan bakar minyak yang memiliki nilai *octane* tinggi dalam memenuhi kebutuhan bahan bakar mesin dengan rasio kompresi tinggi. Bahan bakar dengan nilai *octane* tinggi berfungsi mencegah pembakaran dini didalam ruang bakar yang berakibat *knocking* pada mesin motor bakar dengan rasio kompresi yang tinggi. Namun untuk mendapatkan bahan bakar dengan nilai *octane* tinggi dibutuhkan proses yang lama dan memakan biaya yang tidak sedikit, sehingga harga bahan bakar dengan *octane* tinggi dijual dipasaran dengan harga yang mahal, sedangkan kemampuan dan daya beli masyarakat berbeda-beda. Masyarakat dituntut untuk menggunakan bahan bakar dengan kualitas yang baik untuk mengurangi kerusakan pada mesin.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan menghemat penggunaan bahan bakar pada mesin motor bakar dengan cara alternatif. Salah satunya ialah dengan mencampurkan gas hidrogen dengan bahan bakar baik bensin maupun solar saat proses pembakaran didalam ruang mesin motor bakar. Gas hidrogen ini didapatkan dengan cara memanfaatkan proses elektrolisis air. Oleh sebab itu maka penulis ingin melakukan penelitian lebih lanjut dengan memanfaatkan proses elektrolisis Faraday dengan merancang serta membuat generator HHO yang tersusun dari sel-sel yang diatur dengan variasi jarak dan jumlah elektrolit agar mendapatkan hasil yang maksimal pada proses produksi gas hidrogen sebagai *octane booster* dan bahan bakar alternatif.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka dapat diambil perumusan masalah untuk penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana cara membuat generator HHO yang efisien untuk memproduksi gas hidrogen secara maksimal sebagai *octane booster* dan bahan bakar melalui proses elektrolisis?
2. Bagaimana hasil produksi gas hidrogen yang dihasilkan oleh generator HHO dengan variasi susunan elektroda yang dibuat dengan 2 pemodelan jarak antara elektrodanya?
3. Bagaimana sistematika pemasangan rangkaian alat pada mesin motor bakar sehingga dapat meningkatkan kualitas pembakaran dan unjuk kerja mesin?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mendapatkan desain serta membuat generator HHO dengan tingkat efisiensi yang tinggi dengan menggunakan elektroda jenis logam *Stainless Steel*
2. Mengetahui hasil produksi berupa gas hidrogen dari dua buah model generator HHO yang berbeda pada variasi jarak diantara elektroda.
3. Mengetahui peranan gas hidrogen terhadap peningkatan kerja pada motor bakar berupa torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan kualitas pembakaran mesin motor bakar.

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup pada penelitian ini terbatas hanya pada :

1. Sumber arus listrik yang akan dialirkan pada generator HHO untuk penelitian ini merupakan sumber arus listrik searah yang diperoleh dari listrik PLN dengan menggunakan konverter listrik untuk mempermudah mengukur kuat arus yang dialirkan.
2. Generator HHO yang digunakan pada penelitian ini didesain dan dibuat untuk dapat bekerja pada waktu lama dan mampu mengalirkan kuat arus dengan intensitas besar, namun didalam pengujian ini akan digunakan untuk *interval* waktu 1-3 jam.
3. Kuat arus yang dialirkan pada generator HHO diseting pada 10 Ampere.
4. Katalisator yang digunakan pada pengujian ini adalah jenis basa kuat NaOH dengan variasi larutan untuk setiap 1,5 liter air diberikan NaOH sebesar 10gr dan 20gr.
5. Generator HHO yang diuji ada 2 buah dengan variasi perbedaan jarak antara elektrodanya 5 mm dan 10 mm untuk membandingkan laju produksi gas hidrogen.
6. Elektroda menggunakan plat logam *Stainless Steel 304* dengan tebal 0,8 mm, namun pada penelitian ini tidak membahas sifat material.
7. Indikator hasil penelitiannya adalah efisiensi produksi gas hidrogen terhadap konsumsi energi listrik yang dipakai dalam proses elektrolisis.
8. Peningkatan unjuk kerja pada motor sebelum dan sesudah pemasangan generator HHO pada sistem menjadi salah satu objek penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang sama tentang generator HHO dan pemanfaatannya pada mesin motor bakar pernah dilakukan. Pada penelitian Jarot D. Rahadi, dkk. (2014) diperoleh kesimpulan bahwa terjadi penurunan emisi gas buang berupa C 15% dan HC 47% dari kondisi standar dan menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) setelah adanya injeksi gas hidrogen kedalam ruang bakar mesin motor. Kemudian Masjuki, H.H, dkk. (2016) telah melakukan penelitian mengenai penggunaan gas hidrogen pada mesin CI (*Compression Ignition*) atau diesel dan diperoleh penurunan emisi gas buang CO dan HC sebesar 10-20% serta penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 5%. Hal itu menunjukkan adanya perbaikan kualitas pembakaran didalam motor bakar karena terjadi peningkatan unjuk kerja mesin sebesar 2%.

Adapun penelitian lainnya yaitu Sánchez, J. C, dkk. (2016) menyimpulkan bahwa semakin besar penambahan hidrogen pada proses pembakaran didalam mesin maka dapat mengurangi jumlah gas polusi pada emisi gas buang berupa gas karbon monooksida (CO) sebesar 12,18%, gas karbondioksida (CO₂) sebesar 1%, dan hidrokarbon (HC) 32,67%. Selain itu terjadi peningkatan unjuk kerja dari mesin tersebut. Selanjutnya Hardik P. Merchant, dkk. (2013) melakukan penelitian pada kinerja mesin dan didapatkan bahwa mesin dengan bahan bakar campuran gas hidrogen dapat mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 23.99%, serta mengurangi kadar CO 18.75%, kenaikan daya sebesar 12.20%.

Resuli, I.T, (2011) melakukan penelitian tentang generator HHO dengan luas penampang elektroda sebesar 174 cm² dan menggunakan variasi pada jenis elektrolit untuk mendapatkan laju produksi hidrogen yang maksimum untuk dimanfaatkan pada mekanisme sistem motor dan diperoleh peningkatan efisiensi bahan bakar setelah 60 menit sebesar 24,97% dengan rasio mol hidrogen 6,39 terhadap bahan bakar dengan elektrolit KOH.

Pada penelitian A'rasy, F, (2015) tentang pengaruh jarak antar plat dengan variasi jarak 5 mm, 10 mm, dan 15 mm. Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa produksi hidrogen tercepat diproduksi pada jarak 5 mm antar plat elektroda sebesar 5 cc/min menggunakan daya input 5,4 Watt. Namun didapatkan efisiensi tertinggi pada elektroda dengan jarak 15 mm dengan efisiensi sebesar 54%.

Asaad, Z.A, dkk. (2014) melakukan penelitian terhadap pengaruh jenis air dan jenis katalisator yang digunakan pada generator HHO. Penelitian tersebut mengkaji tentang perbandingan penggunaan Air yang berasal dari keran dan hasil penyulingan (*distilled water*) serta perbandingan penggunaan katalisator Soda kue (NaHCO₃) dengan Natrium Hidroksida (NaOH) menggunakan variasi massa katalisator yang dilarutkan 5 gr, 10 gr, dan 15 gr. Pada penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa generator HHO yang paling maksimal dari segi produktivitas dan efisiensinya ketika menggunakan air hasil penyulingan (*distilled water*) yang ditambah dengan katalisator NaOH dibandingkan dengan menggunakan soda kue (NaHCO₃).

Dari beberapa penelitian tersebut menyatakan bahwa gas hidrogen yang dihasilkan dari generator HHO dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas pembakaran serta unjuk kerja dari motor bakar. Namun untuk mendapatkan gas hidrogen dengan jumlah yang sesuai kebutuhan diperlukan generator hidrogen atau generator HHO dengan produktivitas tinggi.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Motor Bensin (Motor Otto)

Motor bensin merupakan jenis mesin konversi energi tak langsung karena energi bahan bakar yang digunakan harus dirubah terlebih dahulu menjadi energi panas baru kemudian dapat dimanfaatkan menjadi energi mekanis. Jadi energi bahan bakar tidak langsung berubah menjadi energi mekanis. Bahan bakar yang digunakan untuk motor bensin ini ialah iso-oktan (C₈H₁₈). Menurut Astu, P. dan Djati N. didalam bukunya *Mesin Konversi Energi* (2013) mengemukakan bahwa efisiensi pengonversian energinya hanya berkisar 30%. Hal ini dikarenakan oleh

rugi-rugi yang meliputi rugi panas 50%, rugi gesek, dan rugi pembakaran tak sempurna.

Motor bensin atau motor *otto* juga dikenal dengan istilah *spark ignition engine*, karena pada motor *otto* ada busi yang berperan sebagai pemantik untuk menyalakan campuran bahan bakar-udara pada saat proses pembakaran. Busi tersebut dapat mengeluarkan percikan api, disebabkan oleh adanya arus listrik yang mengalir. Apabila dilihat berdasarkan sistem siklus kerja, maka motor *otto* dibedakan menjadi motor bensin dua langkah (*two stroke*) dan empat langkah (*four stroke*). Motor bensin dua langkah (*two stroke*) ialah jenis motor bensin yang hanya membutuhkan dua langkah *piston* atau satu putaran poros engkol (*crankshaft*) untuk mampu menghasilkan satu langkah kerja. Sedangkan pada motor bakar empat langkah ini piston bergerak bolak-balik secara *reciprocating* didalam silinder mesin. Piston tersebut menempuh jarak dari titik tertinggi yang dicapai oleh piston disebut titik mati atas (TMA) dan titik terendah disebut titik mati bawah (TMB) ataupun sebaliknya pada proses kerja. Untuk melakukan sekali siklus, motor bakar 4 langkah memerlukan 4 kali langkah yang terdiri dari langkah hisap, langkah kompresi, langkah kerja, dan langkah pembuangan.

2.2.2 Proses Pembakaran Motor Bensin 4 - Langkah

a. Langkah Hisap (Inhaust)

Pada langkah hisap, campuran udara – bahan bakar dihisap ke dalam silinder dari bagian *inlet valve*. Proses ini terjadi setelah dilakukannya pencampuran bahan bakar dan bensin disemprotkan dari mekanisme karburator ataupun injeksi. Saat proses gerak pada langkah piston ini, katup hisap akan membuka dan katup buang menutup agar hanya udara dari bagian *inlet valve* saja yang masuk kedalam silinder mesin. (Suyanto, 1989).

b. Langkah Kompresi

Pada langkah ini campuran udara dan bahan bakar yang telah masuk kedalam silinder dimampatkan oleh piston yang bergerak ke atas dari TMB ke TMA. Kedua katup dibagian *head* silinder yang terdiri katup hisap dan katup buang akan menutup selama gerakan. Hal tersebut menyebabkan tekanan dan suhu campuran udara bahan bakar menjadi naik dan akan membakar campuran udara dan bahan bakar. Untuk motor bensin busi akan berperan sebagai pemantik dan membakar seluruh campuran bahan bakar-udara yang ada didalam silinder. Ledakan yang menimbulkan tekanan pada piston tersebut memiliki tenaga yang kuat sehingga mendorong piston ke bawah atau melakukan ekspansi. Secara tidak langsung piston tersebut sudah melakukan dua langkah atau satu putaran penuh pada *crankshaft*. (New Step 1, 1996).

c. Langkah Kerja

Langkah kerja merupakan proses selanjutnya setelah campuran udara bahan bakar yang dihisap telah dibakar dan menghasilkan ledakan yang menyebabkan piston bergerak kebawah atau ekspansi sehingga dihasilkan tenaga yang mendorong piston untuk memutar *crankshaft* meneruskan tenaga penggerak yang terhubung pada *crankshaft*. Selama proses gerak pada langkah ini, katup hisap dan katup buang masih tertutup. Setelah proses pada langkah ini selesai, berarti piston telah melakukan tiga langkah dan memutar *crankshaft* sebesar satu setengah putaran. (New Step 1, 1996).

d. Langkah Pembuangan

Untuk langkah pembuangan terjadi proses pergerakan piston sebagai efek kelembaman dari gerakan berputar *crankshaft* setelah melalui proses gerak pada langkah kerja dimana piston yang terdorong ke TMB akan naik kembali ke TMA untuk mendorong gas-gas sisa hasil proses pembakaran yang telah terbakar didalam silinder. Saat proses pada langkah pembuangan terjadi, katup buang akan terbuka dan menyebabkan gas-gas sisa keluar dari sisi *exhaust*. (New Step 1, 1996).

Hakikatnya proses pembakaran normal dapat terjadi ketika rasio campuran antara bahan bakar dan udara mencapai komposisi yang ideal. Menurut teori *Stociometric* menyatakan bahwa komposisi udara untuk sekali proses pembakaran 1 gram bahan bakar membutuhkan sebanyak 14,7 gram udara. Dengan kata lain, perbandingan ideal antara udara dengan bahan bakar pada proses pembakaran sebesar 14,7:1. Pada motor bakar, pembakaran campuran bahan bakar dengan udara dapat terjadi dengan baik ketika bahan bakar dan udara telah bercampur secara homogen.

2.2.3 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah segala jenis materi yang tersusun dari senyawa hidrokarbon iso-oktan (C_8H_{18}). Pada dasarnya bahan bakar mengandung suatu bentuk energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Berdasarkan pada rumus berikut dengan rv merupakan rasio kompresi dari motor bakar.

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{rv} \right)^{\gamma-1}$$

Semakin besar rasio kompresi dari motor bakar maka motor bakar dapat mencapai efisiensi tinggi. Namun motor bakar dengan rasio kompresi yang tinggi dibutuhkan bahan bakar beroktan tinggi untuk mencegah terjadinya *knocking* yang menyebabkan kerusakan.

Adapun jenis bahan bakar untuk motor bensin yang tersedia di pasaran Indonesia sebagai berikut:

a. Premium

Premium pada mulanya ialah *naphtha* yang merupakan salah satu produk destilasi minyak bumi + TEL (zat aditif peningkat oktan) agar didapat RON 88. Namun karena isu lingkungan tahun 2006, TEL atau zat aditif peningkat oktan dengan kandungan lead alias timbal hitam yang berdampak pada kesehatan mulai dihentikan penggunaannya. Oleh karena itu penggunaan TEL diganti dengan HOMC (*High Mogas Component*) yang memiliki fungsi sama untuk menaikkan angka Oktan menjadi 88.

Tabel 1. Karakteristik Premium

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Max
1	Angka Oktan Riset (RON)	RON	88,0	-
2	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
3	Kandungan Timbal	gr/l	-	0,013
4	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7
5	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	780

6	Penggunaan pada Rasio Kompresi	-	7-9:1
---	--------------------------------	---	-------

Sumber: Web PT. Pertamina

b. Peralite

Untuk membuat Peralite dibutuhkan bahan bakar berupa nafta yang memiliki RON 65-70, agar bilangan RON pada nafta menjadi RON 90 maka dicampurkan HOMC (High Octane Mogas Component), HOMC dapat disebut juga Pertamina karena memiliki bilangan RON 92-95. Selain itu pula ditambahkan zat aditif EcoSAVE. Zat aditif EcoSAVE ini tidak bertujuan untuk meningkatkan RON tetapi untuk membuat mesin menjadi bertambah halus, bersih dan irit.

Tabel 2. Karakteristik Peralite

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Max
1	Angka Oktan Riset (RON)	RON	90,0	-
2	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
3	Kandungan Timbal	gr/l	Injeksi timbal tidak diijinkan	
4	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7
5	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770
6	Penggunaan pada Rasio Kompresi	-	9-10:1	

Sumber: Web PT. Pertamina

c. Pertamina

Pertamax dihasilkan dengan cara menambahkan zat aditif ketika proses pengolahannya di kilang minyak. Pertamina pertama diluncurkan tahun 1999 sebagai pengganti BBM Premix 98 yang memiliki unsur MTBE yang sifatnya berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, Pertamina direkomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi setelah tahun 1990, terutama yang menggunakan teknologi *Electronic Fuel Injection* (EFI) dan *catalytic converters* (pengubah katalitik).

Tabel 3. Karakteristik Pertamina

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Max
1	Angka Oktan Riset (RON)	RON	92,0	98,0
2	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
3	Kandungan Timbal	gr/l	-	0,013
4	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7
5	Berat Jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770

6	Penggunaan pada Rasio Kompresi	-	10-13:1
---	--------------------------------	---	---------

Sumber: Web PT. Pertamina

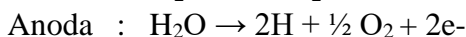
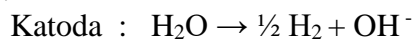
2.2.4 Unjuk Kerja Motor Bakar

Unjuk kerja motor bakar ialah suatu indikasi derajat keberhasilan suatu motor bakar ketika melakukan kerja, yaitu mengkonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik yang berguna. Namun, pada proses mengevaluasi unjuk kerja motor bakar parameter dasar tertentu dipilih serta berbagai pengaruh saat kondisi kerja, konsep perancangan dan modifikasi pada parameter-parameter tersebut dipelajari. Parameter yang biasanya diperhatikan untuk unjuk kerja mesin ialah daya keluaran (*power*), tekanan efektif rata-rata dan torsi, serta konsumsi bahan bakar. (Astu, P. dkk, 2013).

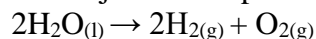
2.2.5 Generator HHO (Hidrogen Oksigen)

Generator HHO atau biasa disebut generator hidrogen merupakan sebuah alat yang memanfaatkan proses elektrolisis untuk menghasilkan gas hidrogen. Gas hidrogen hasil proses tersebut akan ditampung dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Proses elektrolisis merupakan proses yang melibatkan reaksi kimia untuk memecah molekul air menggunakan arus listrik. Pada proses elektrolisa air, molekul air (H₂O) dipecah menjadi unsur penyusun senyawanya yaitu hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂). Alat elektrolisis umumnya terdiri atas elektroda-elektroda yang terbagi menjadi katoda dan anoda. Elektroda tersebut bersifat konduktor listrik, sehingga arus listrik tersebut dapat dihantarkan menuju air. Adapun reaksi yang terjadi pada elektroda-elektroda di alat elektrolisi yaitu, pada katoda dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H₂ dan ion hidroksida (OH⁻). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O₂), melepaskan 4 ion H⁺ serta mengalirkan elektron ke katoda. Ion H⁺ dan OH⁻ mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. (M. Farid, R.R. 2012).

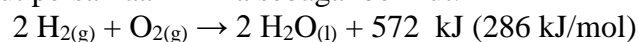
Berikut rincian reaksi dari penjelasan proses elektrolisis air dituliskan pada persamaan dibawah ini.



Sehingga pada proses elektrolisis terjadi reaksi pemecahan berikut:



Gas hidrogen adalah gas yang sangat mudah terbakar dan akan terbakar ketika konsentrasi paling rendah 4% H₂ di udara bebas. Kemudian untuk entalpi pembakaran gas hidrogen adalah -286 kJ/mol. Adapun reaksi pembakaran gas hidrogen menurut persamaan kimia sebagai berikut:



Apabila gas hidrogen dicampurkan dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen dapat meledak seketika ketika disulut dengan api dan akan meledak dengan sendirinya pada temperatur 560 °C.

Hidrogen dan bahan bakar minyak memiliki perbedaan sifat yang sangat besar, dan sifat-sifat tersebut dapat mempengaruhi proses pembakaran pada

Internal Combustion Engine (motor bakar). Namun perbedaan sifat antara hidrogen dengan bahan bakar minyak lain menyebabkan hidrogen lebih unggul. Contoh keunggulan hidrogen menurut Resuli, I.T (2011) berdasarkan sifat fisik, hidrogen memiliki sifat fisik berupa gas yang berarti hidrogen lebih mudah terdispersi dengan udara sehingga mudah terbakar. Sedangkan bahan bakar jenis minyak memiliki sifat fisik berupa cairan yang artinya memiliki kerapatan yang lebih besar dan sulit terdispersi dengan udara menyebabkan bensin relatif lebih lambat terbakar dibandingkan hidrogen.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dimana penelitian ini akan memanfaatkan generator HHO yang telah dibuat kedalam pengujian untuk membandingkan kinerja dari motor bakar kondisi standar tanpa adanya penambahan hidrogen yang dihasilkan dari generator HHO dengan kinerja motor bakar yang memanfaatkan gas hidrogen hasil reaksi generator HHO yang diinjeksikan didalam *intake manifold*.

Gas hidrogen yang dihasilkan akan keluar dari generator HHO dan mengalir didalam saluran berupa selang melewati katup searah (*one way valve*). Setelah melalui katup searah gas hidrogen kemudian mengalir kedalam sistem *water separator (Bubbler)*, dimana pada bubbler ini gas hidrogen dan oksigen murni yang dihasilkan oleh generator HHO dipisahkan dari uap air agar gas yang masuk kedalam sistem pembakaran nantinya bersifat kering ketika masuk di *intake manifold*.

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat Penelitian

- | | |
|---|---|
| a. Plat <i>Stainless steel</i> seri 304 | k. Nepel Selang |
| b. Baut dengan Isolator | l. <i>Multimeter</i> |
| c. Mesin <i>Shearing</i> | m. Katup Searah |
| d. Mesin <i>Bending</i> | n. Konverter Listrik |
| e. Gerinda Tangan | o. <i>Digital Tachometer</i> |
| f. <i>Cleanout Pipe</i> 4" | p. Neraca Digital |
| g. Pipa PVC ukuran 4" | q. Dinamometer DynoJet 250i |
| h. Selang | r. 1 Set Motor Yamaha Mio Soul <i>Bore Up</i> 155cc |
| i. Gelas Ukur | |
| j. <i>Stopwatch</i> | |

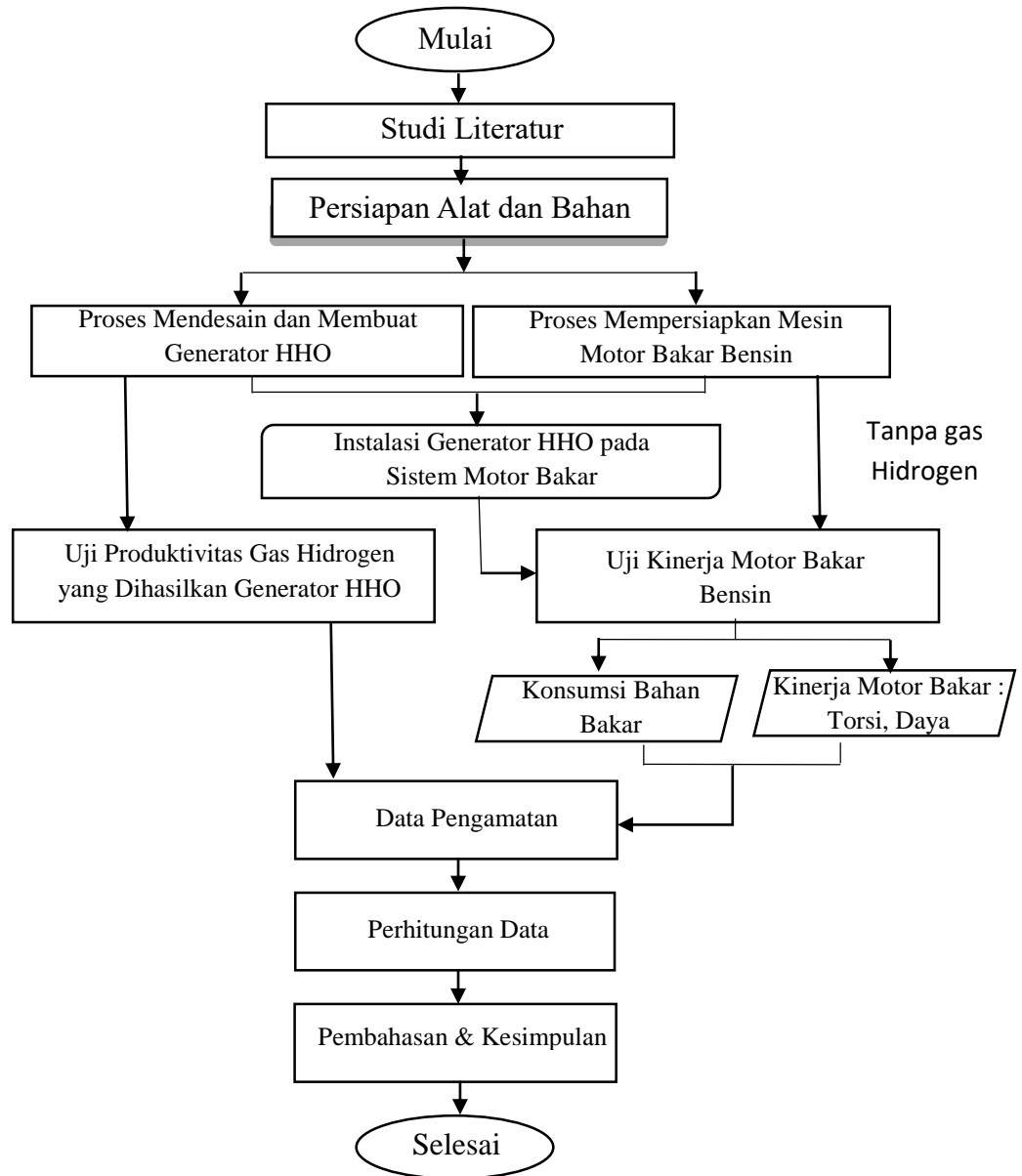
3.1.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang diperlukan antara lain:

- Air (H₂O) yang akan digunakan sebagai bahan baku pada proses elektrolisis untuk menghasilkan gas hidrogen.
- Bensin (pertalite) sebagai bahan bakar pada motor bakar bensin.
- Garam NaOH yang digunakan sebagai katalisator yang akan dilarutkan kedalam air untuk mempercepat reaksi elektrolisis.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir proses penelitian dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Perancangan Generator HHO

1. Memotong bahan elektroda yang berupa plat logam *stainless steel* 304 dengan mesin *shearing* sesuai dengan ukuran gambar desain.
2. Kemudian membuat lubang dikedua bagian ujung dari semua plat *stainless steel* yang telah dipotong dengan jarak dari ujung 1 cm.
3. Menyusun plat *stainless steel* pada baut yang sebelumnya telah diberi isolator sesuai dengan gambar desain yang dibuat.
4. Mengecek setiap hubungan sel anoda dan sel katoda menggunakan *multimeter* untuk mengurangi resiko hubungan arus pendek atau konsleting.
5. Setelah selesai melakukan pengecekan pada elektroda, kemudian melubangi bagian tutup dari wadah generator HHO sebagai tempat baut elektroda dan nepel selang.
6. Memasangkan sel elektroda ke bagian tutup atas generator HHO.

3.3.2 Pengukuran Produksi Gas Hidrogen

1. Menyiapkan 1500 ml air (H_2O) destilasi.
2. Melarutkan 10 gram NaOH kedalam 1500 ml air yang telah disiapkan.
3. Memasukkan larutan NaOH tersebut kedalam generator HHO E5 yang sebelumnya telah dibersihkan.
4. Menyatukan bagian tutup generator HHO E5 yang terdapat elektroda dengan bagian bodi yang berisi larutan NaOH.
5. Kemudian memasang selang yang sudah terhubung dengan gelas ukur ke bagian nepel yang terdapat pada tutup generator HHO E5 setelah itu diikat menggunakan klem dengan kencang.
6. Menghubungkan bagian kutub positif dari converter listrik ke bagian positif generator HHO E5 dan bagian kutub negative converter listrik ke kutub negative generator HHO E5.
7. Apabila semua alat sudah terpasang maka proses pengukuran dapat dimulai dengan menyalakan converter listrik.
8. Mencatat waktu dan perubahan ketinggian gelembung sabun didalam gelas ukur.
9. Mengulangi langkah-langkah diatas untuk pengukuran pada generator HHO E5 + NaOH 20gr, generator HHO E10 + NaOH 10gr, generator HHO E10 + NaOH 20gr.

3.3.3 Pengujian Kinerja Motor Bakar

3.3.3.1 Pengujian untuk mengetahui konsumsi bahan bakar.

1. Memasang alat ukur berupa gelas ukur pada saluran bahan bakar mesin.
2. Menyalakan mesin motor dan melakukan pemanasan mesin selama 5 menit.
3. Mengamati laju pengurangan bahan bakar yang terjadi didalam gelas ukur pada kecepatan putaran mesin konstan 2000 rpm.
4. Menggunakan alat ukur *stopwatch* untuk mempermudah mencatat waktu konsumsi bahan bakar sampai batas yang ditentukan.

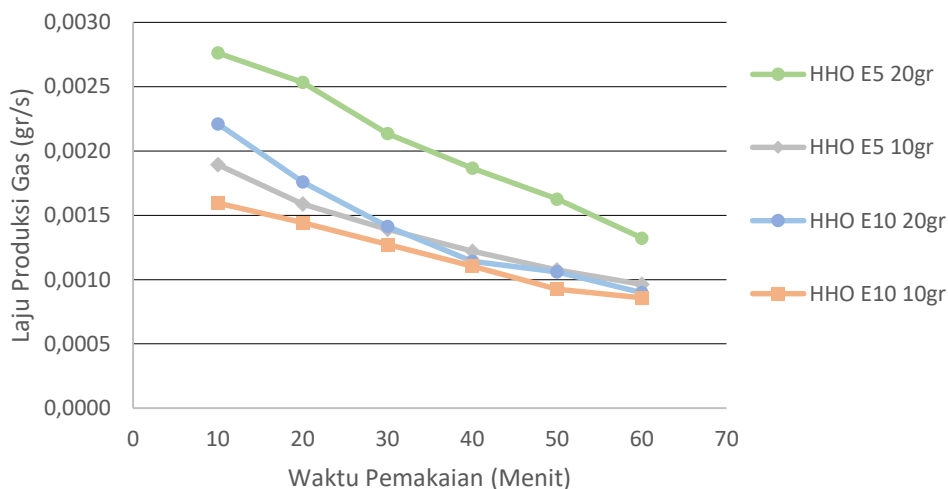
5. Melakukan langkah diatas untuk proses pengujian pada kecepatan putaran mesin 3000, 4000, 5000, dan 6000 rpm.
6. Setelah selesai melakukan pengujian konsumsi bahan bakar tanpa penambahan hidrogen, kemudian melakukan penggantian busi untuk pengujian selanjutnya dengan penambahan hidrogen.

3.3.3.2 Pengujian untuk mengetahui unjuk kerja mesin berupa torsi dan daya.

1. Menyiapkan alat uji *dynamometer* dynojet 250i.
2. Memasangkan motor bensin pada alat *dynamometer* dengan cara menjepit roda depan pada cekam dan mengatur posisi roda belakang agar bersinggungan dengan roda *roller* alat uji *dynamometer*.
3. Apabila motor bensin sudah berada pada posisi yang tepat maka langkah selanjutnya yaitu menyalakan dan memanaskan mesin motor.
4. Setelah mesin motor dirasa cukup stabil maka memulai proses pengambilan data torsi dan daya pada kecepatan putaran mesin 4000 – 9000 rpm dengan membuka *throttle*.
5. Mengamati grafik torsi dan daya yang dihasilkan pada monitor alat uji *dynamometer*.

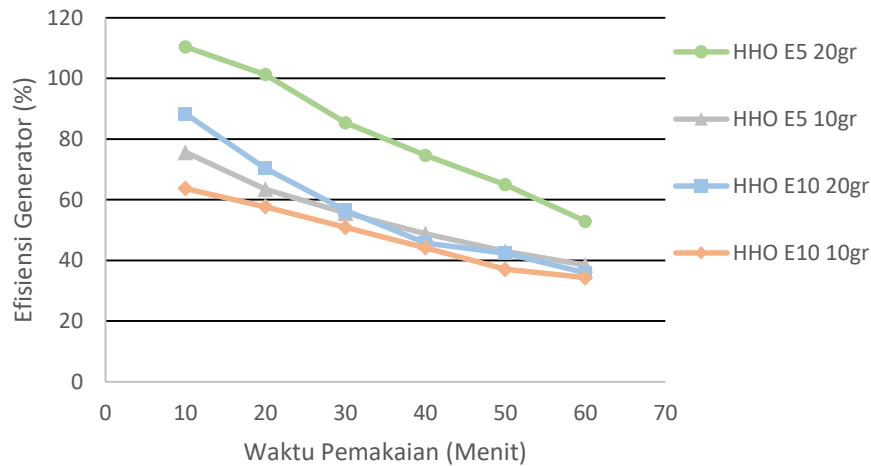
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Produktivitas Generator HHO



Gambar 3. Produksi Gas Hidrogen Terhadap Waktu Pemakaian

Produksi gas terbanyak dihasilkan oleh generator HHO E5 dengan massa katalisator sebanyak 20 gram dengan laju rata-rata produksi gas sebesar 0,002041 gr/s. Adapun untuk laju rata-rata produksi gas pada generator HHO E5 dengan massa katalisator 10 gram sebesar 0,001355 gr/s. Generator HHO E10 massa katalisator 20 gram sebesar 0,001414 gr/s serta yang terakhir generator HHO E10 menggunakan katalisator sebanyak 10 gram sebesar 0,001199 gr/s. Selain dari segi laju produksi gas, produktivitas dari suatu generator HHO ditinjau dari segi efisiensi daya yang digunakan terhadap produk yang dihasilkan.



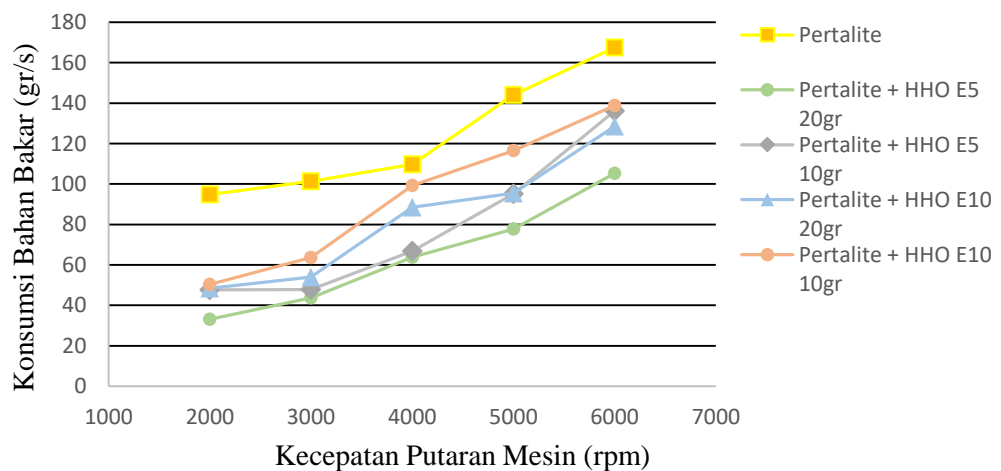
Gambar 4. Efisiensi Generator HHO Terhadap Waktu Pemakaian

Generator HHO dengan jarak antar elektroda sebesar 5 mm atau E5 dengan massa katalisator 20 gram memiliki efisiensi rata-rata tertinggi sebesar 81,59 % dibandingkan dengan generator HHO lainnya seperti generator HHO E5 10gr memiliki efisiensi rata-rata 54,18%, generator HHO E10 20gr sebesar 56,53% dan generator HHO E10 10gr dengan efisiensi rata-rata terkecil hanya 47,97%.

Grafik laju produksi gas dan efisiensi dari generator HHO terjadi penurunan yang disebabkan oleh kejenuhan larutan. Menurut Andono, dkk. (2014) kejenuhan larutan akan menimbulkan efek menghambat gerakan kation dan anion. Anion dan kation terhambat gerakannya karena jarak antara partikel terlalu dekat, sehingga daya hantar listrik pun menjadi rendah serta reaksi elektrolisis yang terjadi tidak akan optimal. Kejenuhan pada larutan elektrolit juga akan menyebabkan kenaikan temperatur/panas pada elektroda generator HHO dan mempercepat larutan mencapai titik jenuh.

4.2 Unjuk Kerja Motor Bakar

4.2.1 Konsumsi Bahan Bakar Motor Bakar



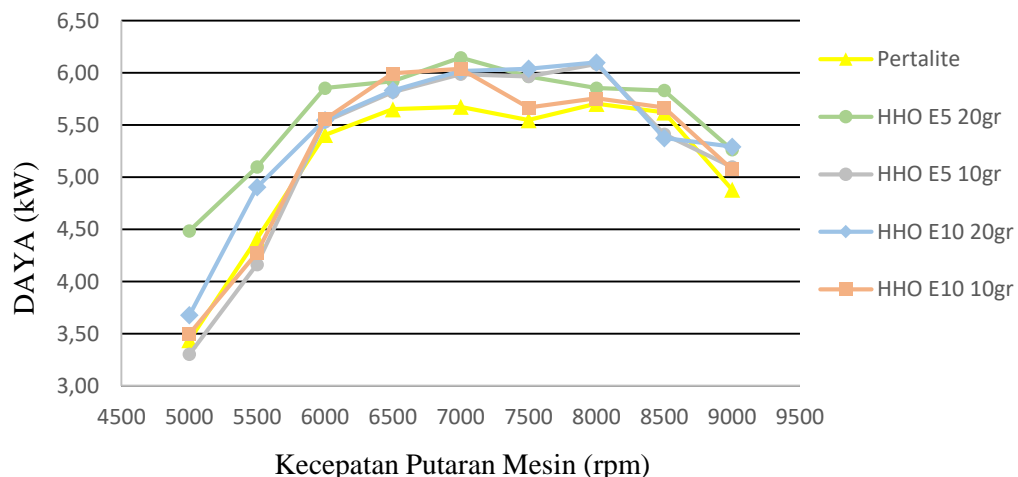
Gambar 5. Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar terendah terjadi ketika motor bakar diberikan bahan bakar tambahan berupa gas hidrogen yang dihasilkan oleh generator HHO E5 dengan massa katalisator 20 gram. Pada kecepatan putaran 2000 rpm konsumsi bahan bakar sebesar 33,0254 gr/s, 3000 rpm sebesar 43,6641 gr/s, 4000 rpm sebesar 63,8108 gr/s, 5000 rpm sebesar 77,7597 gr/s, dan terakhir 6000 rpm dengan konsumsi bahan bakar 105,2244 gr/s. Sedangkan pada generator HHO E5 10gr, untuk kecepatan putaran 2000 rpm konsumsi bahan bakarnya sebesar 47,6032 gr/s, 3000 rpm sebesar 47,8101 gr/s, 4000 rpm sebesar 66,8224 gr/s, 5000 rpm sebesar 95,1430 gr/s, dan pada kecepatan 6000 rpm sebesar 136,1905 gr/s.

Untuk generator HHO E10 20gr, kecepatan putaran 2000 rpm konsumsi bahan bakarnya sebesar 48,4253 gr/s, 3000 rpm sebesar 53,9012 gr/s, 4000 rpm sebesar 88,4354 gr/s, 5000 rpm sebesar 95,5244 gr/s, dan pada kecepatan 6000 rpm sebesar 128,5971 gr/s. Kemudian untuk jenis generator HHO terakhir E10 10gr, kecepatan putaran 2000 rpm konsumsi bahan bakarnya sebesar 50,2813 gr/s, 3000 rpm sebesar 63,5838 gr/s, 4000 rpm sebesar 99,2366 gr/s, 5000 rpm sebesar 116,4495 gr/s, dan pada kecepatan 6000 rpm sebesar 138,8350 gr/s.

Apabila dilihat pada grafik perbandingan konsumsi bahan bakar tersebut, motor bakar mengalami penurunan konsumsi bahan bakar ketika gas hidrogen diinjeksikan kedalam *intake manifold*. Gas hidrogen yang memiliki nilai oktan dan nilai kalor tinggi dapat berperan sebagai bahan bakar tambahan dan bisa memperbaiki proses pembakaran didalam ruang bakar karena gas hidrogen lebih mudah terdispersi ke segala sudut ruang bakar serta memiliki *flameability* yang luas meski jumlah bahan bakar minyak sedikit namun tetap dapat melakukan pembakaran secara sempurna.

4.2.2 Daya yang Dihasilkan Motor Bakar



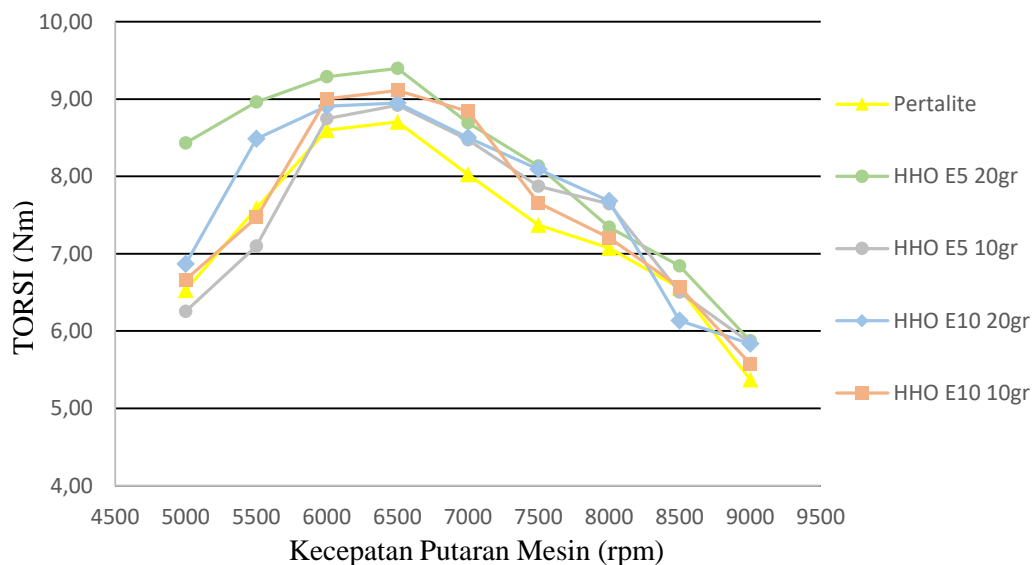
Gambar 6. Perbandingan Daya Motor Bakar

Ketika motor bakar dalam keadaan standar tanpa adanya penambahan gas hidrogen atau bahan bakar murni pertalite hanya mampu menghasilkan daya maksimum sebesar 5,7034 kW pada kecepatan putaran 8000 rpm. Sedangkan ketika motor bakar diberi tambahan gas hidrogen dari generator HHO E5 20gr daya

maksimum yang dihasilkan meningkat menjadi 6,1445 kW pada kecepatan putaran 7000 rpm.

Adapun peningkatan daya pada motor bakar ketika dilakukan penambahan gas hidrogen dari jenis generator lain sebagai berikut, untuk motor bakar dengan generator HHO E5 10gr diperoleh daya maksimum sebesar 6,08465 kW pada 8000 rpm, kemudian untuk motor bakar dengan generator HHO E10 20gr menghasilkan daya 6,0996 kW pada 8000 rpm dan terakhir penggunaan generator HHO E10 10gr pada motor bakar menghasilkan daya maksimum sebesar 6,0398 kW diputaran 7000 rpm.

4.2.3 Torsi yang Dihasilkan Motor Bakar



Gambar 7. Perbandingan Torsi Motor Bakar

Terjadi peningkatan torsi pada saat gas hidrogen ditambahkan kedalam mesin motor bakar. Peningkatan torsi tertinggi dapat dilihat ketika motor bakar diberi tambahan gas hidrogen yang dihasilkan oleh generator HHO E5 20gr. Hal itu terbukti ketika motor bakar dengan bahan bakar pertalite standar menghasilkan torsi maksimum sebesar 8,704 Nm pada putaran mesin 6500 rpm. Sedangkan ketika ditambahkan gas hidrogen dari generator HHO E5 20gr terjadi kenaikan torsi sebesar 9,3976 Nm pada putaran 6500 rpm.

Kemudian untuk pengujian motor bakar dengan penambahan gas hidrogen dari generator HHO lainnya diperoleh peningkatan torsi juga. Pada motor bakar dengan generator HHO E5 10gr dihasilkan torsi 8,9216 Nm di putaran 6500 rpm. Selanjutnya pengujian motor bakar dengan generator HHO E10 20gr menghasilkan torsi 8,9488 Nm untuk putaran 6500 rpm, serta motor bakar dengan generator HHO E10 10gr diperoleh torsi sebesar 9,112 Nm pada kecepatan putaran 6500 rpm.

Torsi memiliki hubungan erat dengan daya, karena torsi yang besar membutuhkan daya yang besar. Sehingga ketika daya yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar yang memiliki *flame speed* tinggi dapat mempengaruhi torsi yang dihasilkan.

V. PENUTUP

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Generator HHO dibuat menggunakan elektroda jenis plat *Stainless Steel* 304 dengan dimensi 120 mm × 70 mm sebanyak 6 buah, 120 mm × 35 mm sebanyak 2 buah, serta tebal 0,8 mm. Memiliki luas kontak permukaan elektroda sebesar 504 cm².
2. Laju produksi gas hidrogen terbanyak dihasilkan oleh generator HHO E5 20 gr dengan rata-rata sebesar 0,002041 gr/s, dimana generator HHO tersebut memiliki jarak diantara elektrodanya sebesar 5 mm dengan massa katalisator NaOH yang dilarutkan sebanyak 20 gram untuk setiap 1500 ml air (H₂O) destilasi. Dengan efisiensi generator HHO tertinggi dimiliki oleh generator HHO E5 20gr tersebut dengan nilai efisiensi rata-rata sebesar 81,59 %.
3. Pemanfaatan gas hidrogen yang diinjeksikan kedalam *intake manifold* mampu meningkatkan unjuk kerja motor bakar berupa Torsi, Daya, dan menurunkan Konsumsi Bahan Bakar. Penurunan konsumsi bahan bakar terendah terjadi ketika dilakukan penambahan gas hidrogen yang dihasilkan generator HHO E5 20gr dengan rata-rata konsumsi bahan bakar 64,697 gr/s. Kemudian peningkatan daya maksimum tertinggi pada motor bakar terjadi ketika adanya penambahan gas hidrogen yang dihasilkan generator HHO E5 20gr sebesar 6,1445 kW pada kecepatan putaran 7000 rpm. Serta peningkatan torsi maksimum tertinggi pada motor bakar terjadi ketika adanya penambahan gas hidrogen yang dihasilkan generator HHO E5 20gr sebesar 9,3976 Nm pada putaran 6500 rpm.

6.2 SARAN

Peneliti menyadari bahwa permasalahan yang belum terungkap masih banyak yang berkaitan dengan generator HHO yang didesain dan dibuat. Oleh karena itu untuk dapat mengembangkan lebih lanjut penelitian ini maka peneliti memberi saran sebagai berikut :

1. Larutan air dengan elektrolit sebisa mungkin dijaga tetap pada kondisi dingin atau temperature rendah agar larutan tidak cepat menuju pada titik jenuh yang menyebabkan reaksi elektrolisis berjalan lambat. Sehingga gas hidrogen yang dihasilkan tetap maksimal.
2. Komponen elektroda generator HHO harus dibuat dengan bahan yang tahan karat agar tidak mudah terkena korosi. Karena elektroda generator HHO bersinggungan dengan air dalam waktu lama.

PERSANTUNAN

Puji syukur alhamdulillah penulis sampaikan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan dapat menyelesaikan karya ilmiah tugas akhir ini yang berjudul **"Studi Eksperimental *Octane Booster* Menggunakan Generator Hidrogen dengan Variasi Susunan Sel Generator Pada Motor Yamaha Mio 155cc Berbahan Bakar Premium"**.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa terdapat banyak hambatan dan kesulitan. Banyak dukungan yang telah diberikan dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini baik bantuan materiil maupun non materiil. Oleh sebab itu, atas terselesaikannya tugas akhir ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT. Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Ir. Subroto, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Ir. Sartono Putro, MT., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan bimbingan, pengarahan dan masukan dengan sabar.
4. Bapak Ir. Sunardi Wiyono, MT., selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan dengan sabar.
5. Bapak M. Alafatih Hendrawan, ST. MT., selaku dosen Pembimbing Akademik.
6. Ayah dan Ibunda, serta adik-adikku tercinta, atas perhatian, kasih sayang, pengorbanan, dorongan, dan doa-doanya.
7. Rekan-rekan seperjuangan dalam menyelesaikan penelitian.
8. Serta pihak-pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam mensukseskan penyusunan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A'rasy F. 2015. *Pengaruh Jarak Antar Plat pada Generator HHO Model Wet Cell terhadap Debit dan Efisiensi*. Jurnal Saintek, Vol. 12, Nomor 2, Desember 2015. ISSN 1693-8917.
- Andono Y, Gamayel A. (2014). *Pengujian Performa Generator Hidrogen Tipe Dry Cell Akibat Pengaruh Komposisi Campuran Katalisator NaHCO₃ pada Air*. Jurnal Kajian Teknologi (Nomor 1 Volum 10). Hlm. 23 - 32.
- Asaad Z.A, Yanuar Z.A, Zuraimy A, Abu B.S, Nor A.M. 2014. *Experimental investigation of HHO gas generation from water as renewable energy source for educational purpose*. Universitas Teknologi Malaysia. Diperoleh pada tanggal 25 Oktober 2016 dari <http://www.icseea.org>
- Astu P., Djati N. 2013. *Mesin Konversi Energi*. Andi Offset. Jogjakarta.
- Farid M., Totok S., Suprpto. 2012. *Perancangan Dan Pembuatan Alat Pemroduksi Gas Brown Dengan Metode Elektrolisis Berskala Laboratorium*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Diperoleh pada tanggal 25 Oktober 2016 dari JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1.
- Jarot D.R, Susastriawan A. A. P., Wibowo H. 2014. *Pengaruh Pemanfaatan Hydrogen dari Generator HHO Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor 4 Tak 100 cc*. AKPRIND Yoguakarta. Diperoleh 5 Januari 2017 dari www.portalgaruda.org/article
- Masjuki H.H., Ruhul A.M., Nirendra N. M., M.A. Kalam M.A., Arbab M.I., Rizwanul F.I.M. 2016. *Study of production optimization and effect of hydroxyl gas on a CI engine performance and emission fueled with biodiesel blends*. Universitas Malaya. Diperoleh pada 25 Oktober 2016 dari www.elsevier.com/locate/he
- Resuli I.T. 2011. *Uji Produktivitas Generator Hidrogen Dan Pemanfaatannya Sebagai Fuel Booster Pada Motor Bakar Bensin*. Universitas Indonesia.
- Sánchez, J. C., Casanova, P., Solís, K. 2016. *Using the oxyhydrogen as an additive to increase the performance of an internal combustion engine*. Universitas de Costa Rica. Diperoleh pada 25 Oktober 2016 dari www.iosrjen.org
- Suyanto, Wardan. 1989. *Teori Motor Bensin*. Jakarta: DEPDIKBUD.
- _____. 1995. *New Step 1*. Jakarta : PT. Toyota Astra Motor
- _____. 1995. *New Step 2*. Jakarta : PT. Toyota Astra Motor